

УДК 622. 834

С.В. Свирко, А.А. Ренев

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВКРЕСТ ПРОСТИРАНИЯ ЛАВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА С ВЫСОКИМИ СКОРОСТЯМИ ПОДВИГАНИЯ ЗАБОЕВ

Как известно, разработка угольных пластов приводит к изменению напряженно-деформированного состояния массива горных пород, при этом сдвижения и деформации могут распространяться на значительные расстояния, вызывая повреждения зданий, сооружений, коммуникаций, объектов сельского хозяйства и т.д.

С вводом в эксплуатацию высокоскоростных очистных забоев вопросы оценки сдвижений и деформаций породного массива и земной поверхности под влиянием горных работ и установление зависимости их развития во времени приобретают особую актуальность.

Начиная с 2004 г., в рамках накопления экспериментального материала для развития теоретических представлений о динамике сдвижений и деформаций при отработке пологих и наклонных угольных пластов высокопроизводительными забоями в условиях Кузбасса Сибирским филиалом ВНИМИ на различных шахтах закладывались наблюдательные станции. Каждая из наблюдательных станций состояла из двух профильных линий грунтовых реперов, заложенных в направлениях простирации и вкrest простирации лав. В качестве реперов использовались металлические стержни, длиной 1,8м и диаметром 20-22мм, откованные на остриё. Частотные наблюдения, в которых один из авторов принимал непосредственное участие, проводились с периодичностью 1 раз в 2-е суток. Нивелировка и измерения длин между

реперами производились по допускам «Инструкции по наблюдениям...» [1].

Горно-геологические условия закладок наблюдательных станций приведены в табл. 1.

Накопленные инструментальные наблюдения дали возможность теоретических обобщений и исследований по установлению закономерностей формирования мульды сдвижений земной поверхности при отходе очистного забоя от монтажной камеры, установления зависимостей величин деформаций поверхности от скорости подвигания забоя и их изменения во времени и легли в основу работы А.С. Ягунова [2], в которой, в частности, рассматривается формирование динамической мульды сдвижений (микромульды) по простиранию пласта в направлении подвигания забоя. В данной статье рассматриваются закономерности формирования динамической микромульды вкrest простирации пласта (в поперечном направлении лавы), как продолжение обобщения полученного экспериментального материала и исследований А.С. Ягунова [2].

При отходе очистного забоя от монтажной камеры со скоростью (c) на поверхности будут формироваться динамические микромульды оседаний размером d_{3x} (рис. 1).

Положениям забоя 1, 2, 3 на поверхности соответствуют длины микромульд d^1_{3x} , d^2_{3x} , d^3_{3x} с максимальными оседаниями в точках 1', 2', 3'. Исследованиями установлено, что заметные осе-

Таблица 1 – Горно-геологические условия по скоростным наблюдательным станциям.

Параметры	Шахта, лава, пласт				
	«Грамотеинская», лава 631, пл.Сычевский	«Котинская», лава 5205, пл.52	«Котинская», лава 5204, пл.52	Им. Кирова, лава 2452, пл.Болдыревский-24	Им. Кирова, лава 2446, пл.Болдыревский
H_{CP} , м	227	166	230	314	250
D_1 , м	210	236	230	250	233
D_2 , м	1785	2400	2410	> 600	> 1000
N_1	0,75	0,93	0,78	0,69	0,75
m , м	3,5	4,6	4,5	2,35	2,42
α , град.	5	9	8,5	6	7
c , м/сут.	4,5 – 7,6	6,8 – 12,5	7,5 – 12,0	6,9	5,7
Год наблюдений	2007	2007	2008	2008	2004
Выемочный комплекс	FAZOC-18/37	DBT	DBT	JOY 4LS-20	-

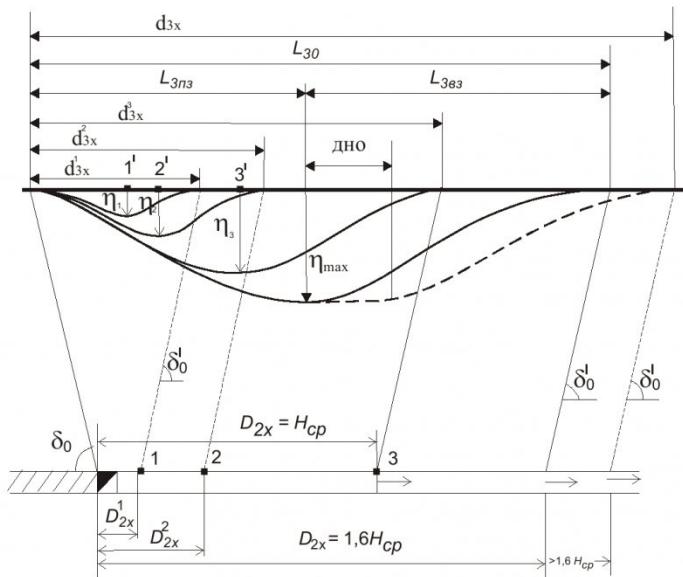


Рис. 1 – Схема формирования микромульд оседаний земной поверхности при отходе очистного забоя от монтажной камеры на разрезе по простиранию.

дания земной поверхности наблюдаются при положении забоя $D_{2X} \geq 0,3H_{CP}$, а максимальное значение величины оседаний зафиксировано при $D_{2X} = 1,6H_{CP}$. При этом образуется мульда полных оседаний длиной L_{30} по простиранию, в которой условно выделим полумульду позади забоя L_{3n3} и полумульду впереди забоя L_{3s3} . При дальнейшем движении забоя полумульда L_{3n3} практически не изменяется, а полумульда L_{3s3} движется со скоростью подвигания забоя, образуя «плоское дно».

Формирование мульды сдвижений земной поверхности в направлении вкрест простирания можно проследить при прохождении очистного забоя под профильной линией наблюдательной станции, расположенной в поперечном сечении лавы. На рис. 2а в качестве примера приведены результаты наблюдений прохождения лавы 5204 под профильной линией наблюдательной станции

на шахте «Котинская».

Обобщение результатов наблюдений по всем наблюдательным станциям производилось в относительных величинах, приведенных к интервалу $[0;1]$, с применением следующих методических подходов:

- в каждой профильной линии определялось максимальное оседание η_{max} . В единичных наблюдениях оседания каждого репера выражались в относительных величинах $\frac{\eta_i}{\eta_{max}}$;

- определялись длины полумульд по падению L_1 и восстанию L_2 при полных сдвижениях земной поверхности. Полумульды делились на 10 равных частей каждая. В единичных наблюдениях в точках деления $z = l / L_{1,2}$, где

$$l = 0; 0,1 \cdot L_{1,2}; 0,2 \cdot L_{1,2}; \dots; L_{1,2}$$

определялись относительные оседания;

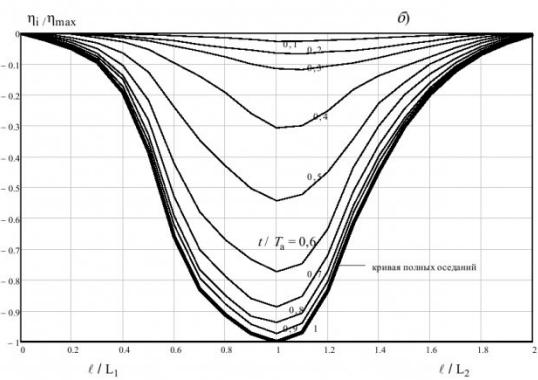
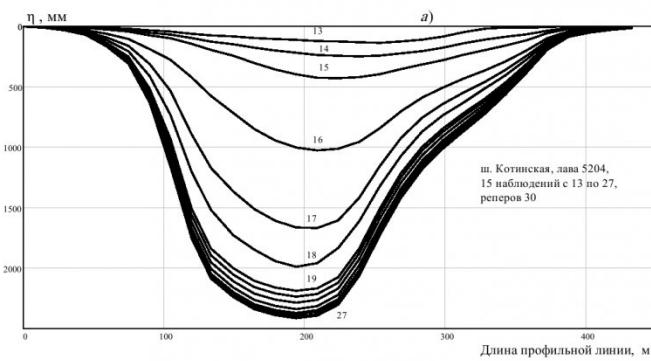


Рис. 2 – Микромульды оседаний земной поверхности на разрезе вкрест простирания.
а) развитие оседаний вкрест простирания пласта при прохождении лавы 5204 под профильной линией наблюдательной станции на шахте «Котинская»;
б) типовые распределения оседаний земной поверхности развивающейся мульды сдвижений в поперечном сечении лавы во времени.

- определялся период времени T_a , в течение которого сформировались полумульды $L_{1,2}$ (время активного процесса сдвижений);
- за начало формирования динамической мульды сдвижений вкрест простириания принималась дата наблюдения, когда какой либо репер в поперечной профильной линии просел на величину 10 мм или более (начало отсчета периода времени T_a);
- в периоды времени $T_i = t / T_a$, где $t = 0; 0,1 \cdot T_a; 0,2 \cdot T_a; \dots; T_a$ путем интерполяции единичных наблюдений и последующих усреднений по правилам статистики определялись оседания в точках полумульд $L_{1,2}$.

Результаты обобщения наблюдений по данной методике приведены на рис. 2б, которые характеризуют процесс формирования динамической мульды сдвижений земной поверхности в поперечном сечении лавы при отработке пологих и наклонных пластов Кузбасса с высокими скоростями подвигания очистных забоев.

По результатам проведенных исследований установлено, что наблюдаемые максимальные оседания по профильным линиям на исследованных шахтах отличаются не более чем на 20% от максимальных оседаний, рассчитанных по методике «Правил охраны...» [3]. Поэтому максимальное оседание подрабатываемой земной поверхности одиночной лавой можно с достаточной точностью определять по формуле:

$$\eta_{\max} = q_0 \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot N_1 \cdot N_2 \quad (1)$$

где:

q_0 - относительное максимальное оседание. Для условий Кузбасса относительное максимальное оседание определяется по формуле:

$$q_0 = 0,7 + 0,25 \cdot \frac{H_{\Pi}}{H};$$

H_{Π} - мощность повторно подрабатываемых пород по линии θ , соединяющей точку максимального оседания земной поверхности с серединой очистной выработки, от которой производится расчет деформаций, м;

H - мощность всей толщи по указанной линии

ниии θ , для условий Кузбасса определяемая по формуле [3]:

$$H = \frac{H_{CP}}{\sin(90^\circ - 0,5\alpha)}, \text{ м};$$

m - вынимаемая мощность пласта, м;

α - угол падения пласта, град.;

N_1 и N_2 - коэффициенты подработанности.

Оценка периода времени активной стадии процесса сдвижений подрабатываемой земной поверхности произведена в работе [2] и выражена зависимостью:

$$T_a = 134,14 \cdot (1 - 0,5N_1) \cdot e^{-0,15c}, \text{ сут}; \quad (2)$$

где N_1 - степень подработанности массива горных пород,

c - скорость подвигания очистного забоя, м/сут.

Величина максимума оседаний микромульд зависит от положения забоя под профильной линией. Приняв за точку отсчета положение проекции профильной линии вкрест простириания пласта на ось $\frac{D_{2X}}{H_{CP}}$ (точка 0), рассмотрим зависимость

изменения величины максимумов оседаний микромульд от положения забоя на этой оси, объединив все профильные линии в единую совокупность. Закономерность этих изменений показана на рис.3а. Определена средняя из всех наблюдений (общей статистической совокупности). Среднеквадратическое отклонение усреднения, определяемое как квадратный корень из дисперсии случайной величины, составило 0,063.

Установлено, что сдвижения поверхности по профильной линии вкрест простириания пласта начинаются при подходе очистного забоя к ее проекции на расстояние $D_{2X} = 0,3H_{CP}$ и достигают максимального значения при отходе линии забоя от проекции профильной линии на расстояние $D_{2X} \approx H_{CP}$. Приняв за начало отсчета положение монтажной камеры и поместив начало сдвижений поверхности в главном сечении вкрест простириания пласта в точку $D_{2X} = 0,3H_{CP}$, получим закономерность изменения рассматриваемых оседаний в зависимости от положения очистного

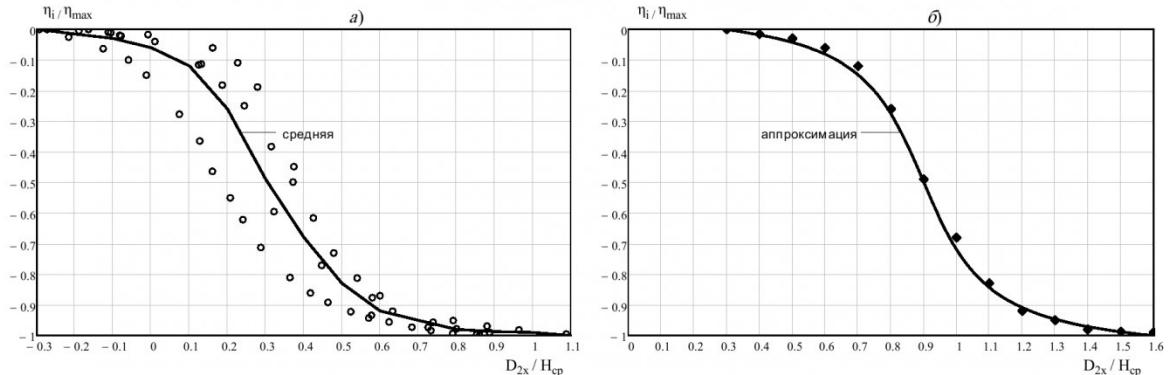


Рис. 3 – Закономерность изменения величины максимумов оседания микромульд в главном сечении вкрест простириания пласта при движении очистного забоя от монтажной камеры.

$M_{BKR} =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.022	0.019	0.015	0.011	$8 \cdot 10^{-3}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0
3	0.05	0.043	0.038	0.03	0.023	0.015	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	0
4	0.094	0.084	0.076	0.066	0.05	0.032	0.015	$7.6 \cdot 10^{-3}$	$4.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	0
5	0.192	0.173	0.16	0.138	0.105	0.065	0.028	0.015	0.01	$2.2 \cdot 10^{-3}$	0
6	0.383	0.353	0.33	0.283	0.218	0.127	0.053	0.025	0.017	$4.8 \cdot 10^{-3}$	0
7	0.66	0.622	0.593	0.53	0.423	0.24	0.097	0.042	0.024	$8.7 \cdot 10^{-3}$	0
8	0.83	0.793	0.767	0.702	0.58	0.347	0.14	0.058	0.037	0.012	0
9	0.913	0.878	0.85	0.788	0.67	0.43	0.193	0.077	0.047	0.015	0
10	0.973	0.943	0.917	0.86	0.733	0.503	0.26	0.1	0.055	0.02	0
11	1	0.973	0.937	0.887	0.773	0.543	0.307	0.115	0.065	0.027	0
12	0.97	0.94	0.907	0.853	0.747	0.523	0.3	0.118	0.067	0.026	0
13	0.835	0.805	0.772	0.72	0.635	0.45	0.252	0.107	0.06	0.023	0
14	0.617	0.583	0.56	0.513	0.435	0.343	0.183	0.097	0.057	0.02	0
15	0.447	0.418	0.398	0.362	0.3	0.227	0.138	0.08	0.048	0.016	0
16	0.303	0.287	0.275	0.245	0.2	0.16	0.107	0.06	0.036	0.012	0
17	0.198	0.185	0.177	0.16	0.132	0.1	0.077	0.043	0.026	$7.8 \cdot 10^{-3}$	0
18	0.122	0.114	0.108	0.096	0.082	0.063	0.047	0.027	0.014	$5.2 \cdot 10^{-3}$	0
19	0.068	0.063	0.058	0.051	0.043	0.032	0.023	0.014	$6 \cdot 10^{-3}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	0
20	0.032	0.028	0.025	0.022	0.017	0.012	$7.1 \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0
21	$6 \cdot 10^{-3}$	$5.3 \cdot 10^{-3}$	$4.6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2.9 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0	0

забоя (рис.3б).

Кривая средних оседаний, определенная по всем наблюдениям, аппроксимирована выражением:

$$f(x) = 1,077 - 0,371 \cdot \operatorname{arcctg}(6,804 \cdot x - 6,110) \quad (3)$$

где $x = \frac{D_{2X}}{H_{CP}}$ в интервале $[0,3; 1,6]$; $f(x) = \frac{\eta_i}{\eta_{\max}}$.

Среднеквадратическое отклонение аппроксимации (3) составило 0,012.

Приведенное на рис. 2б развитие оседаний вкрест простирания пласта во времени активного процесса сдвижений земной поверхности при скоростном подвигании очистного забоя можно представить матрицей M_{BKR} , где $i = 1, \dots, 21$ – номера деления микромульды полных оседаний в главном сечении вкрест простирания пласта на 20 частей; $j = 1, \dots, 10$ – номера динамических микромульд, кратных времени активной стадии сдвижений $0,1Ta$; $j = 1$ – номер микромульды, достигшей полных оседаний за период активной стадии про-

цесса сдвижений Ta .

По матрице M_{BKR} и выражению (2) можно моделировать распределение $S(z_y)$ оседаний поверхности в главном сечении вкрест простирания при любом положении забоя $x = \frac{D_{2X}}{H_{CP}}$ в интервале $[0,3; 1,6]$.

Например, при положении забоя $D_{2X} = 0,95H_{CP}$ оседания поверхности в главном сечении вкрест простирания пласта (рис. 4а) в аналитическом выражении имеют вид:

$$S(z_y) = M_{BKR,i,1} \cdot f(0,95) \quad (4)$$

Выражение (4) определяет распределение оседаний в главном сечении в относительных величинах.

Переход к натуральным величинам покажем на примере.

Пример. Пласт с углом падения 10^0 и вынимаемой мощностью 3м на средней глубине

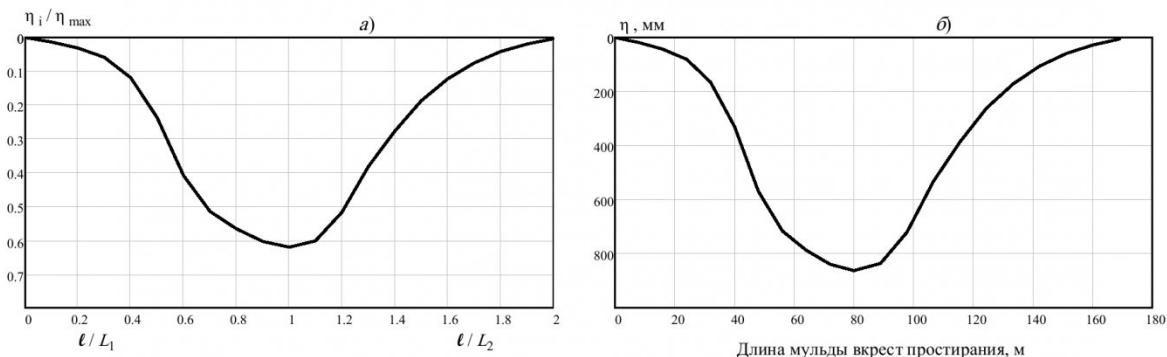


Рис. 4. Пример расчета ожидаемых оседаний подрабатываемой земной поверхности вкрест простирания пласта при отходе очистного забоя от монтажной камеры на расстояние $D_{2X} = 0,95H_{CP}$

а) оседания в относительных величинах; б) оседания в натуральных величинах.

$H_{CP} = 200$ м и со средней мощностью наносов $h_H = 5$ м первично отрабатывается на N -ой шахте Кузбасса механизированной лавой длиной по простирианию $D_2 = 2000$ м и вкrest простириания $D_1 = 150$ м. Оценить оседания подрабатываемой земной поверхности в главном сечении вкrest простириания при отходе очистного забоя от монтажной камеры на расстояние $D_{2X} = 190$ (относительная величина составляет $\frac{D_{2X}}{H_{CP}} = 0,95$).

Решение.

1. Определяем ожидаемое максимальное оседание земной поверхности при полной отработке лавы по формуле (1). Значения N_1 и N_2 определим по методике [3], которые для Кузбасса будут равны $N_1 = 0,67$ и $N_2 = 1$. Для условий Кузнецкого бассейна мощность толщи пород по линии θ составляет:

$$H = \frac{H_{CP}}{\sin(90^\circ - 0,5\alpha)} = \frac{200}{\sin(85^\circ)} = \frac{200}{0,996} = 200,8 \text{ м.}$$

При первичной подработке $H_{II} = 0$. Тогда:

$$\begin{aligned} \eta_{\max} &= \left[0,7 + 0,25 \cdot \frac{H_{II}}{H} \right] \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot N_1 \cdot N_2 = \\ &= \left[0,7 + 0,25 \cdot \frac{0}{200,8} \right] \cdot 3 \cdot \cos(10^\circ) \cdot 0,67 \cdot 1 = 1,39 \end{aligned}$$

2. Определяем длины полумульд по падению L_1 и восстанию L_2 при неполной подработке земной поверхности вкrest простириания пласта:

$$\begin{aligned} L_1 &= h_H \cdot \operatorname{ctg} \phi_0 + (H_{CP} + 0,5 \cdot D_1 \cdot \sin \alpha - h_H) \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 + \\ &\quad + 0,5 \cdot D_1 \cdot \cos \alpha - H_{CP} \cdot \operatorname{ctg} \theta \\ L_2 &= h_H \cdot \operatorname{ctg} \phi_0 + (H_{CP} - 0,5 \cdot D_1 \cdot \sin \alpha - h_H) \cdot \operatorname{ctg} \gamma_0 + \\ &\quad + 0,5 \cdot D_1 \cdot \cos \alpha + H_{CP} \cdot \operatorname{ctg} \theta \end{aligned} \quad (5)$$

где $\phi_0, \beta_0, \gamma_0$ – граничные углы и θ – угол максимальных оседаний согласно [3] для условий Кузбасса равны: $\phi_0 = 45^\circ, \beta_0 = 66^\circ, \gamma_0 = 70^\circ, \theta = 85^\circ$. Подставив исходные данные в (4), получим $L_1 = 80$ м и $L_2 = 89$ м. Общая длина мульды вкrest простириания $L = L_1 + L_2 = 169$ м.

3. Определяем точки деления полумульды по падению $z_{y1}=0; 8; 16; \dots; 80$ и полумульды по восстанию $z_{y2}=88,9; 97,8; 116,7; \dots; 169$, в которых будут найдены величины оседаний. Расстояние между точками деления в полумульде L_1 равно 8 м, в полумульде L_2 8,9 м.

4. По формуле (3) находим $f(0,95) = 0,62$. С учётом $S(z_y) = \frac{\eta(z_{y1,2})}{\eta_{\max}}$ из выражения (4) находим $\eta(z_{y1,2}) = \eta_{\max} \cdot 0,62 \cdot M_{BKPi,1}$.

Результаты расчетов приведены на рис. 4б.

Приведенные в статье методические положения могут быть использованы в качестве дополнения к «Правилам охраны ...» [3] для расчетов ожидаемых оседаний подрабатываемой одиночной лавой земной поверхности вкrest простириания пласта в зависимости от положения очистного забоя под охраняемыми объектами на поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. - М.: Недра, 1989, 97с.
- Ягунов А.С. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве/Минэнерго РФ, НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ, Сибирский филиал. – Кемерово: Кузбассиздат, 2010. – 239 с.
- Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. - СПб, ВНИМИ, 1998, – 290 с.

Авторы статьи:

Свирко
Сергей Владимирович
аспирант каф. разработки месторождений полезных ископаемых
подземным способом КузГТУ
Email svirko@ngs.ru

Ренев
Алексей Агафонович
докт. техн. наук, проф. каф. разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом КузГТУ.
Email:raa@kuzstu.ru